动 物 学 研 究 1997, 18(1): 39—44 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

# 咖啡天牛幼虫种群的空间分布型及应用*

于新文** 况荣平
(中国科学院昆明动物研究所 昆明 650223)



A **摘要** 咖啡旋皮天牛[*Acalolepta cervinus* (Hope)]和灭字虎天牛(*Xylotrechuse quadripes* Chevr.)是危害咖啡的重要害虫。本研究表明，咖啡天牛混合种群的空间分布为随机分布。这是咖啡天牛种群的重要生物学特性。在此基础上，建立了运用被害株率估计平均密度的经验模型和理论抽样公式。这些模型对咖啡天牛的密度调查有着极其重要的实用价值。

咖啡害虫，**关键词** 咖啡天牛，随机分布，经验模型 种群，空间分布

生物种群的空间分布型是一种高度特化的生物学特性，是长期适应自然环境的结果。在理论上，研究种群的空间分布有助于理解种群的生态学特性以及种群与所处环境的相互关系；在实践中，种群的空间分布是确定生物统计分析的资料代换方法和制定抽样技术方案的依据。咖啡天牛是危害咖啡的重要蛀干害虫，有关蛀干害虫空间分布型的研究主要集中在几种重要的森林害虫上（周嘉熹等，1988；王希蒙等，1988），但对咖啡天牛的相关研究尚未见报道。本文对咖啡天牛幼虫种群的空间分布特性进行了研究，以期对咖啡天牛的生态学特性有更深的理解，并提出了平均密度与被害株率之间的关系模型及理论抽样公式。咖啡天牛幼虫在树干内部活动，种群的抽样调查难度很大，本研究对简化咖啡天牛种群密度的调查有着重要的实用价值。

在思茅地区，危害咖啡的天牛有两种，即咖啡旋皮天牛〔*Acalolepta cervinus* (Hope)〕和咖啡灭字虎天牛（*Xylotrechus quadripes* Chevr.）。两种天牛幼虫在田间调查中难以区分，大量解剖树干在实际调查中也是难以实行的。因此本研究是以咖啡天牛混合种群为对象。两种天牛在混合种群中的构成比例分别为78%（旋皮天牛）和22%（灭字虎天牛），即旋皮天牛是优势种群（况荣平等，1996）。

## 1 研究方法

### 1.1 调查方法

在思茅市大开河咖啡场的咖啡园中随机抽取样地10块，每块样地调查株数不少于60株，采取隔行隔株的抽样方法进行了调查。由于天牛幼虫在树干内取食，难以直接得到天

* 云南省应用基础基金资助项目和热区联合开发中心项目
** 工作单位：西南林学院森林保护系，现在中国科学院昆明动物研究所作访问研究
本文1995年12月12日收到，1996年2月1日修回

牛幼虫数量，因此，根据天牛幼虫蛀孔行为特征，以有新鲜虫粪的虫孔数作为幼虫的数量指标（王希蒙等，1988）。

### 1.2 统计分析方法

由于空间分布型的频次检验法计算繁琐，而且实际频率和期望频率的这种比较会受到机会不规则性的影响，有时同一资料可以适合两种或两种以上的理论分布（Southwood，1978），检验结果难免会出现偏差。因此，本研究采用回归模型判断法和分布型指数判断法来确定种群的空间分布型。首先运用调查数据建立 Taylor 模型，以 Taylor 模型参数判断调查种群的分布类型，然后计算 Poisson 分布系数 $C$ 和 Morisita（1959）指标 $I_\delta$，对 Poisson 分布系数 $C$ 和 Morisita 指标 $I_\delta$ 进行 $F$ 检验，检验种群的分布类型；进而与 Poisson 和负二项的理论分布进行比较，进一步验证种群的分布类型。在分布类型确定的基础上建立被害株率与平均密度的关系模型，确定理论抽样公式，进而讨论它们的应用问题。

## 2 结果与分析

### 2.1 单株虫口数的分布状况

为了解咖啡天牛幼虫种群的空间分布，根据实际调查首先作出了咖啡天牛单株虫口数量的频率分布图（图1）。由图1，一株树中有1头天牛幼虫的频数显著高于其他情况。而且，随着受害程度的加重，单株虫口数虽有上升的趋势，但仍以一株树中1头天牛幼虫的频数最高

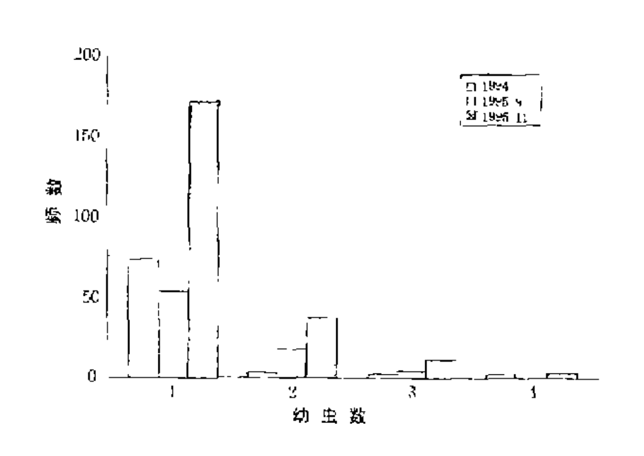



图1 咖啡天牛单株虫口数的频率分布

Fig.1 Frequency distribution of borer number in a tree

### 2.2 种群的空间分布类型

计算出各样地的平均密度（$M$）与方差（$V$），应用 Taylor 幂函数 $V=aM^b$ 拟合计算数据，得到方差 $V$ 与平均密度 $M$ 的回归式：

$$V=1.147M^{0.964}$$

回归的相关系数为 0.970（$P=0.001$），回归关系极显著。当模型参数 $b=1$ 时，种群呈随机分布，$b<1$ 时为均匀分布，$b>1$ 时则为聚集分布（邬祥光，1985）这里，$b=0.964\approx1$，因此可以认为种群服从随机分布

为了验证这个判断，利用原始数据计算每一样地的 Poisson 分布系数（$C=V/M$）。当 $C=1$ 时，种群呈随机分布，对于该系数偏离1的检验，伊藤（1963）提出了 $F$ 检验法。

$C>1$ 时，若 $C>F_{(n-1,\infty)}$ 时为聚集分布，

$C=1$，随机分布

$C<1$ 时，若 $1-C>F_{(n-1,\infty)}$ 则为均匀分布。

Poisson 分布系数 $C$ 虽然是一种很方便的指标，但当平均数变化时，聚集程度即使相等，$C$ 值仍然依平均数而变化。为克服这一缺点，Morisita(1959)提出了 $I_\delta$ 指标作为鉴定昆虫聚集类型的指标，它不依平均数的大小而变化。在 Poisson 分布系数检验的基础上，提出了 $I_\delta$ 偏离 1 的显著性 $F$ 检验法，即运用 $I_\delta$ 与 Poisson 分布系数 $C$ 的关系式，将 $I_\delta$ 转换为 $C$ 值，检验标准同 Poisson 系数的检验，则：

$$F=C=V/M=[I_\delta(N-1)+n-N]/(n-1),$$

式中，$N$ 为每块样地内的总虫数，$n$ 为样地内的调查株数。结果见表 1。

表 1　咖啡天牛幼虫种群的密度与方差及分布型指数的检验

Tab.1　Density, variance and the test of aggregated indices of coffee stem-borers

| 样本数 | 被害株率(%) | 平均密度 | 方差 | Poisson $C$ | Morisita $I_\delta$ | $F$ $I_\delta$ | $F(n-1,\infty)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 34.30 | 0.507 | 0.739 | 1.458 | 1.70 | 1.350 | 1.32 |
| 2 | 37.80 | 0.578 | 0.840 | 1.453 | 1.80 | 1.455 | 1.32 |
| 3 | 13.10 | 0.164 | 0.206 | 1.256* | 2.71* | 1.257 | 1.33 |
| 4 | 38.60 | 0.494 | 0.497 | 1.006* | 0.96* | 0.980 | 1.32 |
| 5 | 23.20 | 0.333 | 0.461 | 1.384 | 2.18 | 1.382 | 1.35 |
| 6 | 23.30 | 0.283 | 0.342 | 1.208* | 1.76* | 1.206 | 1.32 |
| 7 | 17.50 | 0.238 | 0.346 | 1.454 | 3.05 | 1.463 | 1.30 |
| 8 | 50.00 | 0.700 | 0.764 | 1.091* | 1.13* | 1.090 | 1.27 |
| 9 | 37.30 | 0.434 | 0.395 | 0.910* | 0.92* | 0.966 | 1.22 |
| 10 | 31.80 | 0.353 | 0.303 | 0.858* | 0.59* | 0.858 | 1.25 |

$F$ 检验的结果表明，样地 3、4、6、8、9、10 为随机分布（$P<0.01$），其它 4 块样地为虽可判定为是聚集分布（表 1），但从分布型指数来看，几个样地（1、2、5、7）分布型指数值偏离 1 的程度不大，故而我们仍认为这几块样地上的种群分布是接近随机分布的。应用 Morisita 指标检验的结果（表 1）与 Poisson 分布系数 $C$ 的检验结果一致（$P<0.01$）。

为了进一步验证种群的分布类型，根据调查数据计算了负二项分布的公共 $K$ 值 $Kc$（$Kc=2.874$，$1/Kc=0.348$），得到负二项分布方差与均数关系的理论模型：$V=M+0.348M^2$。此外随机分布（即 Poisson 分布）的情况下有 $V=M$ 模型。将 Taylor 模型、负二项分布的理论模型和 Poisson 分布的理论模型绘制成图（图 2）。由图 2 可以看出，Taylor 幂函数曲线与 Poisson 分布理论线 $V=M$ 在低密度时（<2）基本重合，只是随着密度的增大才稍微偏离了 Poisson 分布的理论直线 $V=M$，与负二项分布的理论线 $V=M+0.348M^2$ 相离很远。由此判断咖啡天牛幼虫种群空间分布是服从随机分布的。

## 2.3　平均密度与被害株率的关系

Kawano & Sygino(1958)指出，不论分布型如何，分布型依密度的变化有改变的倾向时，被害株率 $P$（包括 1 头以上的虫株率）与平均密度 $m$ 的关系可以下式近似表示：

$$P=1-\exp(-am^b) \qquad (1)$$

进行曲线回归，得 $a=0.958$，$b=1.041$，$p=0.001$，$R^2=0.919$，回归效果极显著。这里，$a\approx1$，$b\approx1$，$P\approx1-\exp(-m)$，则 $P_0=\exp(-m)$，而 Poisson 分布的概率函数为 $P(\xi=x)=[m^x\exp(-m)]/x!$，当 $\xi=0$ 时，分布的概率函数即为 $P(0)=\exp(-m)$。由此，也可说明咖啡天牛幼虫种群的空间分布为随机分布。

可以由（1）式导出：

$$m=[-1/a\log(1-P)]^{1/b} \tag{2}$$

将 $a$ 值、$b$ 值分别代入（2）式，即可得到以有虫株率来估计虫口密度的方程：

$m=[-1.0438\log(1-P)]^{0.961}$，

估计的置信区间为 $m\pm1.96\sqrt{S_m^2}$，其中 $S_m^2$ 的估计为

$$S_m^2=2(P/n)a^{-2/b}b^{-2}(1-P)^{-1}[-\log(1-P)]^{2/b-2} \tag{3}$$

相应的，$P_0=1-P$，可以得到以无虫株率来估计平均密度的方程：

$m=[-1.0438\log(P_0)]^{0.961}$

估计的置信区间为 $m\pm1.96\sqrt{S_m^2}$，其中 $S_m^2$ 的估计为

$$S_m^2=((1-P_0)/n)a^{-2/b}b^{-2}(P_0)^{-1}[-\log(P_0)]^{2/b-2} \tag{4}$$

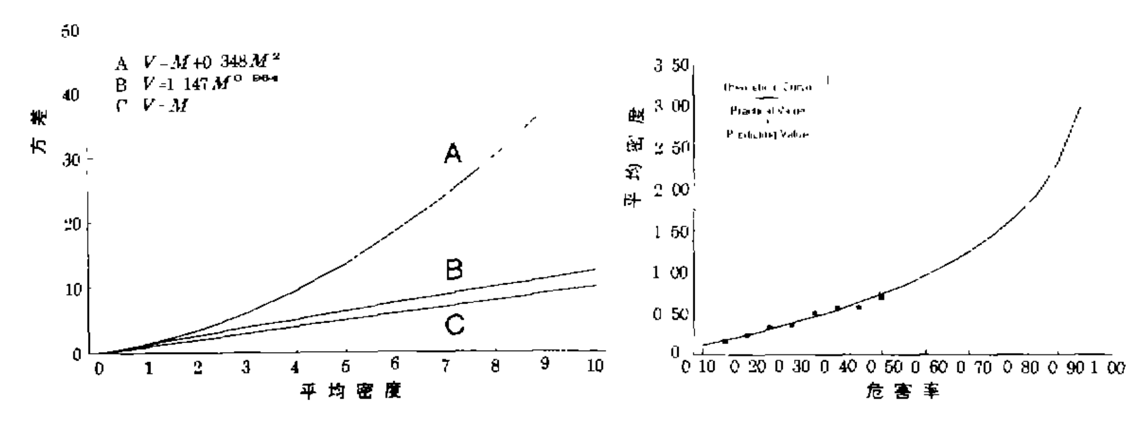



图2 方差与平均密度的相互关系

Fig.2 Relationship between variance ($V$) and mean density ($M$)

图3 平均被害株率与平均密度关系理论曲线与实测值

Fig.3 Practical value and the curve of $P$–$m$ model

为检验模型的理论曲线与实测值之间的符合程度，作出理论曲线与实测值如图3。由图3可以看出，实测值（图中方形符号）与理论曲线相吻合，说明该模型的精度是比较高的，可以应用于田间的实际调查。应用该模型与以往调查的被害率对虫口密度进行了估计，见图中三角符号所示。

### 2.4 理论抽样数的确定

抽样单元数是一个抽样方案的主要内容，一个合适的抽样数不仅能节约人力物力，而且能够提高调查数据的精度。

当精确度水平为 $D=S_m/m$ 时，根据（2）、（3）式，

$D=\sqrt{(p/n)a^{-2/b}b^{-2}(1-P)^{-1}[-\log(1-p)^{2/b-2}]}/[1/a\log(1-P)]1/b$，可导出理论抽样数（$n$）的公式：

$$n=p(1-p)^{-1}[-\log(1-p)]^{-2}/(D^2b^2), \tag{5}$$

将 $b=1.041$ 代入(5)式得：

$n=(1-p)^{-1}[-\log(1-p)]^{-2}/(1.836D^2)$

## 3 讨论

昆虫种群的空间分布状况与种群的扩散活动能力有着直接的关系。昆虫的扩散可分为与密度有关的扩散和与密度无关的扩散。与密度无关的扩散其基本运动方式为随机运动。而与密度有关的扩散昆虫向分布中心的运动受到阻碍，亦即由于种间和种内竞争的作用，使得昆虫更多地向减小竞争作用的方向运动。咖啡天牛幼虫营隐蔽性生活，本身没有扩散能力。形成咖啡天牛幼虫空间分布的主要原因是成虫的扩散及产卵习性。咖啡天牛混合种群中的竞争作用是显而易见的。咖啡旋皮天牛和灭字虎天牛雌成虫产卵时一般每一刻槽产卵一粒，少有产卵多粒的（邝郦乾，1959；孟绪武等，1962）。上述两种扩散形式对于咖啡天牛的产卵习性来说，都有助于种群形成随机分布。即种间和种内竞争使得天牛成虫产卵趋于分散，孵化后的幼虫分布也比较分散。由咖啡天牛单株虫口数量的频率分布也可看出，一株树中有 1 头天牛幼虫的频数显著高于其他情况。当种群内竞争作用小时，天牛成虫的扩散形式可看作与密度无关的扩散，种群的随机扩散使得咖啡天牛成虫产卵也是随机的，形成种群空间分布呈随机分布。

昆虫密度的不同常常导致分布的改变。种群稀疏时，在任何抽样单位中个体出现的机会很少，它们的分布往往是随机的，可以经常看到稀疏种群的随机分布和密集种群的核心分布（Southwood，1978）。咖啡天牛种群的空间分布也存在这种情况。本研究所得到的数据资料显示咖啡天牛种群密度很低，10 组资料中虫口密度最大的也只有 0.700 头/株，即咖啡天牛种群非常稀疏，在抽样单位中天牛个体出现的概率很小，其空间分布形成随机分布。

本文应用咖啡天牛幼虫种群的空间分布信息，导出了被害株率与平均密度的关系模型。应用该模型可以在调查种群密度时，不用统计虫口数量，而只统计有虫样数或无虫样数，利用有虫株率或无虫株率来估计该环境内的种群密度。这种估计虽有一定的局限性，但对人力紧张或大面积的决策抽样时，尤其针对咖啡天牛的密度调查，有非常重要的实用价值。咖啡天牛小龄幼虫在韧皮部螺旋状或纵横取食，仅留外部表皮，从外表较难发现幼虫危害，即使以新鲜虫孔数估计幼虫数量也非常费工费时。因此，以有虫株率或无虫株率来估计咖啡天牛幼虫种群的密度，不但可以大大减少抽样调查的工作量，而且对于大面积的密度调查也非常方便。

思茅地区咖啡天牛幼虫种群的空间分布呈随机分布，虫口密度很低，但已经造成了严重的危害。目前咖啡树树龄较小，抗性较差，只要有天牛危害，咖啡树就会表现为生长衰弱，结实率低。因此，对于思茅地区的咖啡种植区来说，应尽早开展咖啡天牛的防治工作，趁咖啡天牛种群数量较低时及早控制咖啡天牛的危害。

**致谢**　本研究在室内分析和野外调查过程中得到中国科学院昆明动物研究所李斌和思茅大开河咖啡场李光华先生的帮助，在此表示感谢。

## 参 考 文 献

邝炳乾，1959　咖啡灭字虎天牛的初步研究　昆虫知识，9：281—284

兰星平，1995　I　Y 模型在检验昆虫种群空间分布型中的应用　动物学研究，16(3)：281—288

孟绪武，黄雅志，1962. 咖啡旋皮天牛的初步研究. 昆虫学报，11：430—431
王希蒙，李崇阳，张真，1988. 黄斑星天牛空间分布型的初步研究. 林业科学，24（3）：352—357
邬祥光，1985 昆虫生态学的常用数学分析方法 北京：农业出版社（修订本） 502—511.
伊藤嘉昭，村井实，1986 动物生态学研究法 见：邬祥光，张志庆译 北京：科学出版社 52—64.
周嘉熹，邵崇斌，黄起常等，1988. 黄斑星天牛空间分布型及其应用. 西北农业大学学报，16（增刊）：99—106
Southwood T R E, 1978. Ecological methods. New York: John Wiley and Sons. 9-59.
Taylor L R, 1961 Aggregation, variance and the mean. *Nature*, **189**: 732-735.

# SPATIAL DISTRIBUTION AND ITS APPLICATION OF POPULATION OF COFFEE STEM-BORER

Yu Xinwen Kuang Rongping

(*Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Scienes, Kunming* 650223)

## Abstract

Coffee stem-borers〔*Acalolepta cervinus* (Hope) and *Xylotrechuse quadripes* Chevr.〕are two major pests damaging coffee trees in Yunnan Province. This study shows that the spatial distribution of mixed population is of random distribution based on Taylor's model, Poisson's index and Morisita's index. Additionally, the empirical models for estimating the density and determining the sample size are developed in this study. These models might be of practical value.

**Key words** Coffee stem-borer, Random distribution, Empirical model